



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Patentschrift  
⑯ DE 198 52 080 C 1

⑯ Int. Cl. 7:  
G 01 K 3/08  
H 01 L 23/34  
H 05 K 7/20

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:  
TRW Automotive Electronics & Components GmbH  
& Co. KG, 78315 Radolfzell, DE

⑯ Vertreter:  
Patentanwälte Eder & Schieschke, 80796 München

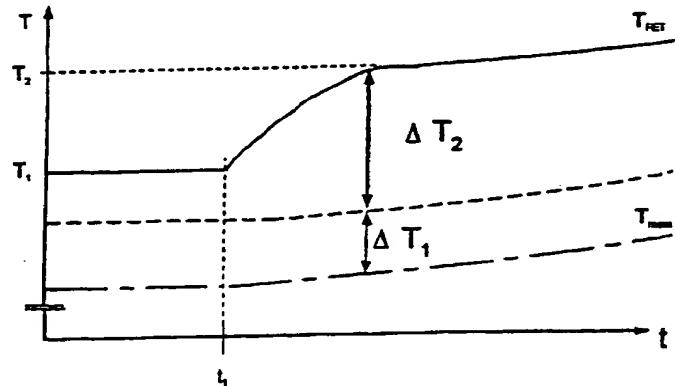
⑯ Erfinder:  
Cornelius, Peter, 77815 Bühl, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 197 08 653 A1  
DE 40 20 304 A1  
DE 37 15 231 A1

⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung der Temperatur eines verlustbehafteten elektronischen Bauelements, insbesondere eines Leistungshalbleiters

⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Temperatur eines verlustbehafteten elektronischen Bauelements, insbesondere eines Leistungshalbleiters, wobei das Bauelement mittels eines Kühlkörpers oder Kühlmediums gekühlt wird. Die Temperatur des Kühlkörpers oder des Kühlmediums wird an einem Erfassungsort erfasst, welcher nach einer Änderung der Verlustleistung des Bauelements seine Gleichgewichtstemperatur mit einer Zeitkonstante erreicht, die groß ist gegenüber der Zeitkonstante, mit welcher das Bauelement seine Gleichgewichtstemperatur erreicht. Die Temperatur des Bauelements wird durch die Addition eines Temperaturdifferenzwertes zur erfassten Temperatur des Erfassungsortes bestimmt, wobei der Temperaturdifferenzwert  $\Delta T_2$  rechnerisch unter Verwendung einer vorbekannten Abhängigkeit ermittelt wird, welche den Temperaturdifferenzwert abhängig von der Verlustleistung oder abhängig von der Verlustleistung und der Zeitdifferenz nach einer Änderung der Verlustleistung darstellt.



DE 198 52 080 C 1

DE 198 52 080 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung der Temperatur eines verlustbehafteten elektronischen Bauelements, insbesondere eines Leistungshalbleiter, mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1 und des Patentanspruchs 8.

Bei elektromotorisch angetriebenen Pumpen, die für Servolenksysteme in der KFZ-Technik verwendet werden, finden häufig bürstenlose Gleichstrommotoren Verwendung, welche eine entsprechende Ansteuerelektronik benötigen. Zur Beaufschlagung der Statorwicklungen des Motors mit dem gewünschten Gleichstrom bieten sich Leistungshalbleiter, beispielsweise Power-FET's an, die zumindest bei größeren Pumpenleistungen entsprechend gekühlt werden müssen.

Die FET's werden aus Kostengründen in der Regel relativ knapp dimensioniert. Dabei ist nicht sichergestellt, dass über den gesamten möglichen Temperaturbereich die für FET's zulässige Chiptemperatur nicht überschritten wird. Es ist daher erforderlich, die Temperatur der FET's zu überwachen und ggf. bei Detektieren einer unzulässig hohen Temperatur den Motor bzw. den FET so anzusteuern dass eine Zerstörung vermieden wird. Aber auch aus anderen Gründen kann eine Temperaturerfassung der FET's erforderlich sein, beispielsweise um deren Zerstörung aufgrund anderer Fehler in der Ansteuerelektronik oder im Motor (Wicklungskurzschluss) zu vermeiden.

Bei bekannten Verfahren wurde beispielsweise die Temperatur des FET bzw. des Halbleiterchips durch das Aufkleben eines Temperatursensors auf den integrierten Kühlkörper des FET gemessen. Dabei besteht jedoch das Problem, dass beim Aufkleben der Sensoren große Schwankungen in der Wärmekopplung auftreten. Es kommt dabei sowohl zu großen Schwankungen in der Zeitkonstante dieses Übergangs als auch zu großen Schwankungen des Wärmeübergangswiderstands. Demzufolge wurde die Temperatur des FET nur mit großer Messunsicherheit erfasst.

Darüber hinaus war es mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, die relativ schnellen Änderungen der Bauelementetemperatur zu erfassen, da hierzu der Einsatz teurer schneller Sensoren erforderlich gewesen wäre.

Zudem bedingt die Montage eines Sensors durch Verkleben mit dem Bauelement einen hohen Aufwand.

Aus der DE 37 15 231 A1 ist eine Messvorrichtung zur Bestimmung der Temperatur von Halbleiterkörpern sowie ein Verfahren zur Herstellung der Messvorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung der Temperatur von Halbleiterkörpern während Temperprozessen bekannt, wobei entweder im Inneren eines Halbleiterkörpers ein Thermoelement oder auf der Oberfläche des Halbleiterkörpers ein Thermoelement vorgesehen wird. Zur Integration des Thermoelements wird im Halbleiterkörper eine Ausnehmung geschaffen, in welche das Thermoelement eingebracht wird. Die Ausnehmung wird anschließend wieder mit einem Material, das der chemischen Zusammensetzung der Umgebung der Ausnehmung entspricht, aufgefüllt. Das Vorsehen des Thermoelements auf der Oberfläche des Halbleiterkörpers kann entweder durch Aufdampfen oder durch Andrücken mittels eines Auflagegewichts erfolgen. Mit einer derartigen Messvorrichtung kann die Temperatur eines entsprechenden, jedoch ohne ein Thermoelement ausgebildeten Halbleiterkörpers ermittelt werden, wenn sowohl die Messvorrichtung, als auch der weitere Halbleiterkörper in unmittelbarer Nachbarschaft denselben Verlauf der Umgebungstemperatur erfahren.

Die Messvorrichtung wird dabei als Referenz zu dem weiteren Halbleiterkörper betrachtet, dessen innere Tempe-

ratur auf diese Weise mittelbar bestimmt werden kann.

Aus der DE 40 20 304 A1 ist eine Anordnung zur Temperaturmessung an gekühlten, elektronischen Bauelementen bekannt, bei der ein in Dünnschichttechnik ausgeführter und auf einer Polyimid-Sensorolie aufgebrachter Temperatursensor Verwendung findet. Die Folie mit dem darauf aufgebrachten Temperatursensor wird zwischen einer Kühlplatte zur Wärmeableitung und dem auf diese Weise gekühlten elektronischen Bauelement angeordnet. Um die Temperatur ohne Verfälschung durch die Temperatur der Kühlplatte zu erfassen, ist der Temperatursensor auf der dem Bauelement abgewandten Seite durch eine Luftkammer in der Kühlplatte thermisch isoliert.

Schließlich ist aus der DE 197 08 653 A1 ein Verfahren zur Bestimmung der Junction-Temperatur von gehäussten Halbleiterbauelementen bekannt, wobei auf einem eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisenden Trägerkörper benachbart zu dem zu überwachenden, auf dem Trägerkörper vorgesehenen Halbleiterbauelement ein Temperatursensor aufgebracht ist. Der Temperatursensor ist mit einem Anschlusspin des Halbleiterbauelements mittels einer speziell ausgeformten Verbindungsleiterbahn elektrisch leitend verbunden.

Nachteilig bei diesen bekannten Verfahren bzw. Vorrichtungen ist ebenfalls eine relativ große Messunsicherheit bzw. der Einsatz aufwendiger und teurer Sensoren oder die aufwendige Montage der Sensoren.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung der Temperatur eines verlustbehafteten elektronischen Bauelements, insbesondere eines Leistungshalbleiters, zu schaffen, wobei auch bei Einsatz preiswerter Sensoren eine möglichst exakte Temperaturerfassung gewährleistet wird und der Montageaufwand für die Sensoren gering gehalten werden kann.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 8.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass der Einsatz langsam reagierender Sensoren möglich ist, wenn die Temperatur des mit dem zu überwachenden Bauelement thermisch gekoppelten Kühlelements oder Kühlmediums an einem Ort erfasst wird, der eine gegenüber dem Bauelement große Zeitkonstante aufweist, bis nach einer Änderung der durch das Bauelement zugeführten Verlustleistung ein zumindest quasi-stationärer Gleichgewichtszustand erreicht wird. Gegenüber einem rein stationären Zustand ist der quasi-stationäre Zustand dadurch gekennzeichnet, dass sich die Temperatur des Erfassungsorts und die Temperatur des Bauelements (zeitlich langsam) gleichförmig unter Beibehaltung einer konstanten Temperaturdifferenz ändern kann.

Erfundungsgemäß wird daher mittels eines Sensors die Temperatur des Kühlelements an einem Ort mit großer Zeitkonstante gemessen und hierzu eine rechnerisch ermittelte Temperaturdifferenz addiert, die von den Parametern des Wärmeübergangs vom Bauelement bis an den Messort und der vom Bauelement in Form von Wärme zugeführten Verlustleistung abhängig ist. Infolge der sehr guten Wärmeleitfähigkeit des Metallgehäuses der Pumpe können Temperaturdifferenzen über einen großen Bereich des Gehäuses praktisch vernachlässigt werden. Diese spielen allenfalls in unmittelbarer Umgebung des Montageorts des Bauelements eine Rolle, das die Wärme zuführt.

Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, mittels des Sensors an praktisch beliebiger Stelle des Gehäuses die Temperatur zu erfassen. Es müssen lediglich die betreffenden Parameter für den Wärmeübergang an dieser Stelle ermittelt werden, wobei in der Praxis das Ermitteln der Parameter für einen bestimmten Typ der Pumpe ausreicht, ohne dass für jedes individuelle Exemplar eine Bestimmung der Parameter erforderlich ist.

derlich wäre. Wegen der bereits erwähnten geringen Temperaturunterschiede in weiten Bereichen des Gehäuses sind auch große Montagetoleranzen für den Sensor unkritisch.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung wird lediglich der quasi-stationäre Zustand nach einer Leistungsänderung berücksichtigt, wodurch sich ein minimaler Rechenaufwand bei ausreichender Genauigkeit ergibt. Es ist jedoch ebenfalls möglich, die Zeitkonstante zu berücksichtigen, mit welcher das Bauelement den quasi-stationären Zustand erreicht, um die Temperatur auch in diesem Übergangsbereich zu ermitteln.

Nach der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Sensor auf einer Leiterplatte angeordnet und zusammen mit der Leiterplatte im Gehäuse montiert. Gegenüber bekannten Verfahren ergibt sich hierbei ein minimierter Montageaufwand. Dabei kann vor der Montage im Gehäuse oder auf dem Sensor ein wärmeleitendes Gel oder ein wärmeleitender Kleber aufgetragen werden, um im montierten Zustand eine verbesserte thermische Kopplung zu erreichen.

Weitere Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Explosionsdarstellung der wesentlichen Komponenten einer elektromotorisch angetriebenen Pumpe mit einer Vorrichtung zur Überwachung von Leistungshalbleitern nach der Erfindung;

Fig. 2 einen Teilschnitt in der durch die Linie A-A in Fig. 1 definierten vertikalen Ebene der Pumpe in montiertem Zustand;

Fig. 3 ein schematisches Diagramm zur Erläuterung des Temperaturüberwachungsverfahrens nach der Erfindung; und

Fig. 4 ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen dem Temperaturfassungsort und dem überwachten Leistungshalbleiter vom durch den Halbleiter geschalteten Strom darstellt (Gleichgewichtszustand).

Fig. 1 zeigt eine elektromotorisch angetriebene Pumpe 1, die ein Pumpengehäuse 3, eine Ansteuerelektronik 5 sowie einen aus einem Stator 7 und einem Rotor 9 bestehenden Elektromotor 23 umfasst. Eine mit dem Pumpengehäuse verbindbare Schutzkappe zur Abdeckung des Motors 23 ist nicht dargestellt.

Das Pumpengehäuse 3 beinhaltet die gesamte Pumpenmechanik und weist in der vorderen Wandung eine Auslassöffnung 11 (Druckausgang) und in der rückseitigen Wandung eine nicht näher dargestellte Ansaugöffnung 13 auf.

Ausgehend vom Boden des Pumpengehäuses 3 erstreckt sich eine zylindrische Wandung 15 nach oben, in welcher die mittels eines Lagers 17 gelagerte Antriebswelle 18 für die Pumpenmechanik vorgesehen ist.

Das Pumpengehäuse 3 besteht vorzugsweise aus Aluminium- oder Magnesiumdruckguss.

Im Pumpengehäuse 3 wird die Ansteuerelektronik 5 angeordnet, wobei diese eine Platine 19 umfasst auf der die erforderlichen mechanischen, elektrischen, elektromechanischen und elektronischen Bauelemente vorgesehen sind. Die Platine 19 weist eine Ausnehmung 21 auf, in welche die zylindrische Wandung 15 des Pumpengehäuses 3 eingreift. Die Platine 19 ist als Kombination eines unispritzten Stanzgitters (für hohe Stromstärken) und einer gedruckten Leiterplatte (für niedrige Stromstärken) ausgebildet.

Nach dem Einsetzen der Ansteuerelektronik 5 in das Pumpengehäuse 3 wird der Motor 23 im Pumpengehäuse 3 montiert. Der Stator 7 weist eine erforderliche Anzahl von Statorwicklungen sowie eine axiale Ausnehmung 25 auf, mit welcher der Stator 7 auf die zylindrische Wandung 15

des Pumpengehäuses 3 aufgesetzt wird.

Der Rotor 9 ist als Außenläufer aufgeführt und wird im Pumpengehäuse 3 mittels der fest mit dem Rotor 9 verbundenen Antriebswelle 18 und des Lagers 17 rotierbar gelagert. Selbstverständlich wird der Rotor 9 mit der Antriebswelle 18 in geeigneter Weise verbunden.

Die gesamte Anordnung kann mittels einer nicht näher dargestellten Schutzkappe abgedeckt werden, welche auf den Bund 27 der seitlichen Wandung des Pumpengehäuses 3 aufgesetzt wird.

Im Pumpengehäuse 3 sind zwei Auflageflächen 29 für Leistungshalbleiter 31 der Ansteuerelektronik 5 vorgesehen. Bei diesen Leistungshalbleitern 31 kann es sich beispielsweise um Power-FET's handeln. Die Power-FET's weisen in üblicher Weise relativ kleine metallische Kühlkörper 31a auf, die in der Regel jedoch keine ausreichende Abfuhr der Verlustwärme gewährleisten können.

Zu diesem Zweck werden die kleinen Kühlkörper 31a auf den Auflageflächen 29 im Pumpengehäuse 3 platziert und mit geeigneten Mitteln mit diesen in einen ausreichenden wärmeleitenden Kontakt gebracht.

Da die Kühlkörper 31a der Leistungshalbleiter 31 auch gleichzeitig die Funktion eines elektrischen Kontakts ausüben, kann erforderlichenfalls zwischen der Rückseite der kleinen Kühlkörper 31a und den Auflageflächen 29 eine elektrisch isolierende, jedoch ausreichend wärmeleitende Schicht vorgesehen sein. Gegebenenfalls kann jedoch auch ein unmittelbarer elektrischer Kontakt zwischen den Kühlkörpern 31a und dem Pumpengehäuse 3 hergestellt werden, wenn dies elektrisch zulässig bzw. gewünscht sein sollte. In der dargestellten Ausführungsform werden jeweils zwei Leistungshalbleiter 31 mittels federnder Klammern 33 auf den Auflageflächen 29 befestigt.

Die Bereiche des Pumpengehäuses 3 unterhalb der Auflageflächen 29 weisen vorzugsweise einen oder mehrere Kanäle auf, die von dem von der Pumpe zu fördernden Medium durchflossen sind. Die betreffenden Bereiche wirken somit wie Wärmetauscher. Selbstverständlich können hierzu an sich bekannte Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmeabfuhr von den Leistungshalbleitern 31 vorgesehen werden, wie beispielsweise das Vorsehen einer möglichst großen Fläche für das zu fördernde Medium in den Bereichen unterhalb der Auflageflächen 29. Beispielsweise können hierzu eine Vielzahl von Kanälen vorgesehen sein oder ein oder mehrere Kanäle innenseitige Kühlrippen aufweisen.

Die in den Fig. 1 und 2 dargestellte Ausführungsform ermöglicht einen äußerst platzsparenden Aufbau. Das Vorsehen der kompletten Ansteuerelektronik, einschließlich der Leistungshalbleiter, innerhalb des Pumpengehäuses bietet den Vorteil, dass die Ansteuerelektronik sicher vor Umwelteinflüssen geschützt ist. Durch das gleichzeitige Nützen des Pumpengehäuses als Kühlkörper für die Leistungshalbleiter und das Abführen der Verlustwärme der Leistungshalbleiter durch das zu fördernde Medium ist sichergestellt, dass innerhalb des Pumpengehäuses keine unzulässig hohen Temperaturen auftreten.

Dennoch muss durch geeignete Maßnahmen eine thermische Überlastung der Leistungshalbleiter in jedem Fall vermieden werden. Bei Pumpen der dargestellten Art, die insbesondere bei der Realisierung von Servolenkungen für Kraftfahrzeuge zum Einsatz kommen, werden die Leistungshalbleiter hinsichtlich ihrer Leistung aus Kostengründen meist knapp dimensioniert. Da die Pumpen nicht für einen Dauerbetrieb ausgelegt sind, kann auch eine kurzzeitige Belastung der Leistungshalbleiter über deren Dauerbelastbarkeit hinaus in Kauf genommen werden. In diesem Fall muss jedoch in besonderem Maße durch eine geeignete Temperaturüberwachung eine Zerstörung der Bauelemente

verhindert werden.

Wie aus **Fig. 2** ersichtlich, wird hierzu nach der Erfindung wenigstens ein Temperatursensor 35 vorgeschen, der die Temperatur des Pumpengehäuses 3 an einem Erfassungsort erfassst, der bei einer Änderung der in Wärme umgesetzten Verlustleistung des Leistungshalbleiters erst nach einer relativ langen Zeit, d. h. mit einer relativ hohen Zeitkonstante  $\tau_{\text{mess}}$  einen Gleichgewichtszustand erreicht. Die Zeitkonstante  $\tau_{\text{mess}}$  soll hierbei definitionsgemäß auch eine ggf. vorhandene Totzeit mit beinhalten. Der Temperatursensor 35 kann beispielsweise als NTC ausgebildet sein.

Nachfolgend wird das Verfahren zur Bestimmung bzw. Überwachung der Temperatur des Leistungshalbleiters 31 bzw. FET's unter Bezugnahme auf die **Fig. 3** und 4 erläutert:

Als Ausgangspunkt sei ein Gleichgewichtszustand mit einer Temperatur  $T_1$  des FET bzw. dessen Chip angenommen. Grundsätzlich ist für die Zerstörung des Leistungshalbleiters 31, z. B. des FET, die Temperatur des Chips maßgeblich. Bei einer Erhöhung der Verlustleistung bzw. des durch den FET geschalteten Stroms  $I$  (die Verlustleistung ist proportional zum Quadrat des Stroms durch den FET) zum Zeitpunkt  $t_1$  wird durch die Erhöhung der Wärmeverlustleistung der Chip gegenüber dem Gleichgewichtszustand weiter erwärmt. Der neue Gleichgewichtszustand  $T_2$  für die Chip-temperatur wird sich infolge der geringen Wärmekapazität des Chips und den geringen Zeitkonstanten der Wärmeübergänge vom Chip auf den Kühlkörper 31a und vom Kühlkörper 31a auf das Gehäuse 3 relativ schnell einstellen, was in **Fig. 3** durch den schnellen Anstieg der Kurve für die FET- bzw. Chip-Temperatur  $T_{\text{FET}}$  dargestellt ist.

Der in **Fig. 3** dargestellte Temperaturverlauf  $T_{\text{mess}}$  am Erfassungsort des Temperatursensors 35 zeigt infolge der großen Zeitkonstante nur einen langsamem Anstieg. Das Pumpengehäuse 3 (zusammen mit dem das Gehäuse durchströmenden Kühlmedium) wirkt dabei wie eine "nicht ganz ideale Wärmesenke mit unendlicher Wärmekapazität", die im Gegensatz zu einer idealen Wärmesenke doch langsam erwärmt wird.

Die Erfindung geht von der Tatsache aus, dass im Gleichgewichtszustand die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zwischen zwei beliebigen (thermisch gekoppelten) Punkten proportional der (ggf. an einem dritten Ort) zugeführten Wärmeleistung  $P$  ist und im Wesentlichen durch die Eigenschaften thermischer Übergänge bestimmt wird. Mit anderen Worten, die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  ist unabhängig vom absoluten Temperaturwert einer der beiden Punkte.

Im dargestellten Beispiel ist also die Temperaturdifferenz  $\Delta T_2$  zwischen dem Erfassungsort des Temperatursensors 35 und dem FET bzw. dessen Chip im Gleichgewichtszustand nur abhängig von der durch den FET zugeführten Verlustleistung. Nach dem Erreichen des Gleichgewichtszustandes (bezogen auf eine konstante Temperaturdifferenz  $\Delta T_2$ ) erfolgt durch das Erwärmen des Gehäuses bzw. des Kühlmediums ein weiterer langsamer Anstieg sowohl der Temperatur  $T_{\text{FET}}$  als auch der Temperatur  $T_{\text{mess}}$ , wobei die Temperaturdifferenz  $\Delta T_2$  im Wesentlichen konstant bleibt. Das Gesamtsystem strebt mit der Zeitkonstanten  $\tau_{\text{mess}}$  einem stationären Zustand zu. In der Praxis beträgt die Zeitkonstante  $\tau_{\text{mess}}$  mehr als 1 min. vorzugsweise 5 bis 15 min. weitgehend bestimmt durch die Masse des Pumpengehäuses und des Kühlmediums.

Die Proportionalitätskonstante zwischen zugeführter Wärmeleistung  $P$  und Temperaturdifferenz  $\Delta T_2$  beträgt im gezeigten Beispiel ca. 0,6 K/W für den Übergang vom FET-Chip auf den Kühlkörper 31a und ca. 2,5 K/W für den Übergang vom Kühlkörper 31a auf das Pumpengehäuse 3 bis an den Erfassungsort des Sensors 35. Die gesamte Konstante beträgt somit ca. 3 K/W für den gesamten Übergang vom

Chip bis zum Erfassungsort. Beträgt die maximale Verlustleistung der vier auf den Flächen 29 montierten FET's 31 z. B. je 50 W, also zusammen 200 W, so führt dies zu einer Temperaturdifferenz von 150 K. Bei Raumtemperatur des 5 Gehäuses führt dies in der Regel bereits zu einer unzulässig hohen Temperatur des Chips, so dass abhängig von der erfassten Temperatur Maßnahmen zur Reduzierung der Verlustleistung getroffen werden müssen. Hierzu kann das Signal des Temperatursensors von einer Auswerte- und Steuereinheit ausgewertet werden, die dann den Motor bzw. die FET's so ansteuert, dass eine geringere Verlustleistung erzeugt wird. Die Auswerte- und Steuereinheit kann selbstverständlich in die Ansteuerelektronik 5 integriert sein.

Die Temperatur der FET's kann somit in der Weise ermittelt werden, dass die Auswerte- und Steuereinheit zunächst 15 mittels des Sensors 35 die Temperatur am Erfassungsort bestimmt und dann in Kenntnis der Verlustleistung  $P$  der FET's und der Proportionalitätskonstante die Temperatur des Chips der FET's berechnet. Die Proportionalitätskonstante kann 20 zwar grundsätzlich für jedes individuelle Exemplar einer Pumpe in einem Eichvorgang gemessen und in der Auswerte- und Steuereinheit gespeichert werden, jedoch ist es in der Praxis vorteilhafter, für einen bestimmten Baustein eine mittlere Proportionalitätskonstante zu bestimmen, und zu 25 der aus der Beziehung  $\Delta T_2 = k \cdot P$  ermittelten Temperaturdifferenz eine Sicherheitsmarge  $\Delta T_1$  zu addieren.

Werden in der Praxis die Zeitkonstanten  $\tau_{\text{mess}}$  des Erfassungsortes in Bezug auf jedes zu überwachende Bauelement durch eine geeignete Positionierung des Sensors 35 groß gegenübersetzen den für jedes Bauelement maßgeblichen Zeitkonstanten für den Wärmeübergang vom Bauelement auf das Gehäuse gewählt, so genügt die Verwendung eines einzigen Sensors, um nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß der Erfindung die Temperatur aller Bauelemente zu überwachen.

Zusätzlich zur Temperatur  $T_{\text{FET}}$  im quasi-stationären Zustand, in dem die Temperaturdifferenz  $\Delta T_2$  zwischen Bauelement und Erfassungsort konstant ist, kann auch der zeitliche Verlauf des Übergang der Temperatur  $T_{\text{FET}}$  des Bauelements berücksichtigt werden. Hierzu muss jedoch der Wert für die Zeitkonstante ermittelt werden, mit der das Bauelement den quasi-stationären Zustand erreicht. Damit kann die Auswerte- und Steuereinheit unter Verwendung einer vorgegebenen analytischen Funktion auch die Temperatur im Übergangsbereich ermitteln. Die zur erfassten Temperatur  $T_{\text{mess}}$  zu addierende Temperaturdifferenz kann nach der Beziehung  $\Delta T_2(t) = k \cdot P \cdot f(t)$  ermittelt werden, wobei hier in zulässiger Weise vorausgesetzt ist, dass der zeitliche Verlauf  $f(t)$  unabhängig von der zugeführten Verlustleistung ist.

**Fig. 4** zeigt den prinzipiellen Verlauf der Abhängigkeit der Temperaturdifferenz  $\Delta T_2$  vom Strom durch einen FET, wobei sich der erwartete parabelförmige Verlauf ergibt, da die Leistung  $P$  zum Quadrat des Stroms proportional ist.

Die Kurve I in **Fig. 4** zeigt den Verlauf für eine Ansteuerung des Motors mit Pulsbreitenmodulation zur Leistungssteuerung. Die Temperaturdifferenz ist in diesem Fall infolge der höheren Verlustleistung, verursacht durch die zahlreichen Schaltvorgänge, wesentlich höher als im Betrieb ohne Pulsbreitenmodulation (Kurve II in **Fig. 4**). Diese erfolgt bei Vollast. Wird daher im Vollastbetrieb nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren eine unzulässig hohe Temperatur eines FET ermittelt, so muss der (mittlere) Strom durch den Transistor nicht nur um einen entsprechenden Betrag gemäß dem Verlauf der Kurve II gesenkt werden, da gleichzeitig auf einen Pulsbreitenmodulationsbetrieb des Motors übergegangen werden muss. Es ist zunächst der Strom zu ermitteln, der bei Pulsbreitenmodulationsbetrieb denselben unzulässig hohen Temperaturwert  $\Delta T_2$

verursachen würde (d. h. in Kurve I) und anschließend der entsprechende Strom soweit zu reduzieren, dass sich (in Kurve I) ein zulässiger Temperaturdifferenzwert ergibt.

Patentansprüche	5
1. Verfahren zur Überwachung der Temperatur eines verlustbehafteten elektronischen Bauelements, insbesondere eines Leistungshalbleiters,	10
a) wobei das Bauelement mittels eines Kühlkörpers oder Kühlmediums gekühlt wird	
dadurch gekennzeichnet,	
b) dass die Temperatur des Kühlkörpers oder des Kühlmediums an einem Erfassungsort erfasst wird, welcher nach einer Änderung der Verlustleistung des Bauelements seine Gleichgewichtstemperatur mit einer Zeitkonstante erreicht, die groß ist gegenüber der Zeitkonstante, mit welcher das Bauelement seine Gleichgewichtstemperatur erreicht, und	15
c) dass die Temperatur des Bauelements durch die Addition eines Temperaturdifferenzwertes zur erfassten Temperatur des Erfassungsortes bestimmt wird,	20
d) wobei der Temperaturdifferenzwert rechnerisch unter Verwendung einer vorbekannten Abhängigkeit ermittelt wird, welche den Temperaturdifferenzwert abhängig von der Verlustleistung oder abhängig von der Verlustleistung und der Zeitdifferenz nach einer Änderung der Verlustleistung darstellt.	25
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperaturdifferenzwert mittels einer Abhängigkeit der Form $\Delta T = k \cdot P \cdot f(t)$ ermittelt wird, wobei $\Delta T$ den Temperaturdifferenzwert, $k$ eine vom Wärmeübergang vom Bauelement bis an den Erfassungsort abhängige Konstante, $P$ die Verlustleistung des Bauelements und $f(t)$ eine Zeitabhängigkeit darstellt, nach welcher das Bauelement nach einer Änderung der Verlustleistung den Gleichgewichtszustand erreicht.	30
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitabhängigkeit der Temperaturänderung des Bauelements in der vorbekannten Abhängigkeit vernachlässigt wird und als Differenztemperaturwert der Gleichgewichtswert verwendet wird.	35
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Maß für die Verlustleistung der durch das Bauelement fließende Strom verwendet wird.	40
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Überschreitung eines vorbestimmten Maximalwertes für die ermittelte Temperatur des Bauelements ein Fehlersignal erzeugt wird.	45
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Überschreitung eines vorbestimmten Maximalwertes für die ermittelte Temperatur für eine Zeitspanne, die länger ist als eine vorgebbare Zeitspanne, die Verlustleistung des Bauelements so weit reduziert wird, dass die Temperatur des Bauelements in einem zulässigen Bereich liegt.	50
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Zeitkonstante des Bauelements und der Zeitkonstante des Erfassungsorts größer als 1 : 10, vorzugsweise größer als 1 : 20 ist.	55
8. Vorrichtung zur Überwachung der Temperatur eines	60

verlustbehafteten elektronischen Bauelements, insbesondere eines Leistungshalbleiters.

- a) wobei das Bauelement mittels eines Kühlkörpers oder Kühlmediums gekühlt wird und dadurch gekennzeichnet,
- b) dass mittels eines Sensors die Temperatur des Kühlkörpers oder des Kühlmediums an einem Erfassungsort erfasst wird, welcher nach einer Änderung der Verlustleistung des Bauelements seine Gleichgewichtstemperatur mit einer Zeitkonstante erreicht, die groß ist gegenüber der Zeitkonstante, mit welcher das Bauelement seine Gleichgewichtstemperatur erreicht, und
- c) dass das Sensorsignal einer Auswerte- und Steuereinheit zugeführt ist, welche die Temperatur des Bauelements durch die Addition eines Temperaturdifferenzwertes zur erfassten Temperatur des Erfassungsortes bestimmt,
- d) wobei die Auswerte- und Steuereinheit den Temperaturdifferenzwert rechnerisch unter Verwendung einer ihr zugeführten oder in einem Speicher der Auswerte- und Steuereinheit gespeicherten vorbekannten Abhängigkeit ermittelt, welche den Temperaturdifferenzwert abhängig von der Verlustleistung oder abhängig von der Verlustleistung und der Zeitdifferenz nach einer Änderung der Verlustleistung darstellt.
- 9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerte- und Steuereinheit den Temperaturdifferenzwert mittels einer Abhängigkeit der Form  $\Delta T = k \cdot P \cdot f(t)$  ermittelt, wobei  $\Delta T$  den Temperaturdifferenzwert,  $k$  eine vom Wärmeübergang vom Bauelement bis an den Erfassungsort abhängige Konstante,  $P$  die Verlustleistung des Bauelements und  $f(t)$  eine Zeitabhängigkeit darstellt, nach welcher das Bauelement nach einer Änderung der Verlustleistung den Gleichgewichtszustand erreicht.
- 10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerte- und Steuereinheit die Zeitabhängigkeit der Temperaturänderung des Bauelements in der vorbekannten Abhängigkeit vernachlässigt und als Differenztemperaturwert den Gleichgewichtswert verwendet.
- 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerte- und Steuereinheit als Maß für die Verlustleistung den durch das Bauelement fließenden Strom verwendet.
- 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerte- und Steuereinheit bei einer Überschreitung eines vorbestimmten Maximalwertes für die ermittelte Temperatur des Bauelements ein Fehlersignal erzeugt.
- 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerte- und Steuereinheit bei einer Überschreitung eines vorbestimmten Maximalwertes für die ermittelte Temperatur für eine Zeitspanne, die länger ist als eine vorgebbare Zeitspanne, die Verlustleistung des Bauelements so weit reduziert, dass die Temperatur des Bauelements in einem zulässigen Bereich liegt.
- 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauelement ein Leistungshalbleiter zur Ansteuerung eines Elektromotors ist.
- 15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor auf einer Leiterplatte angeordnet und mittels eines Koppelmediums, vorzugsweise eines wärmeleitenden Gels oder Klebers, wär-

meleitend mit einem Gehäuse für den Elektromotor  
verbunden ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

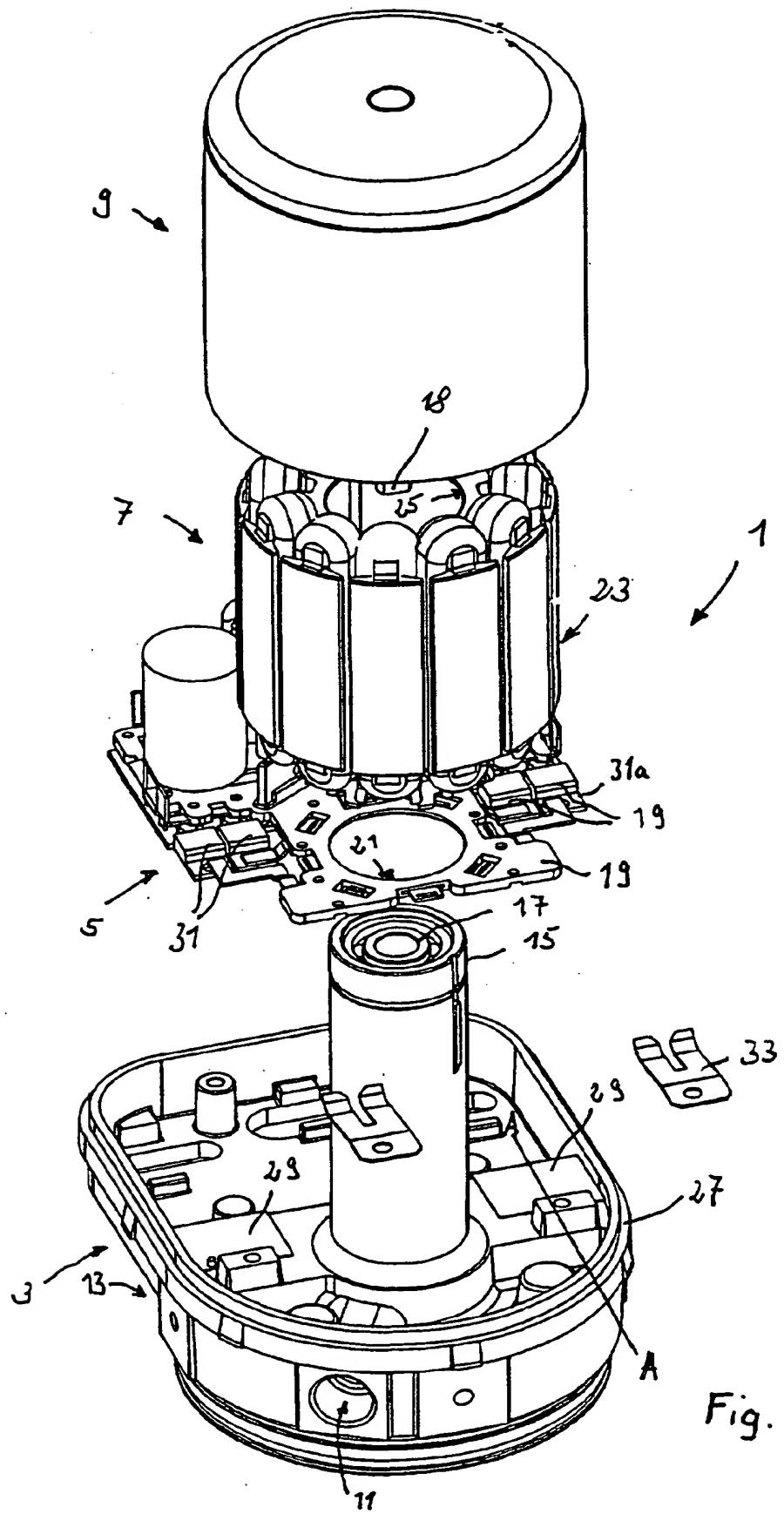


Fig. 1

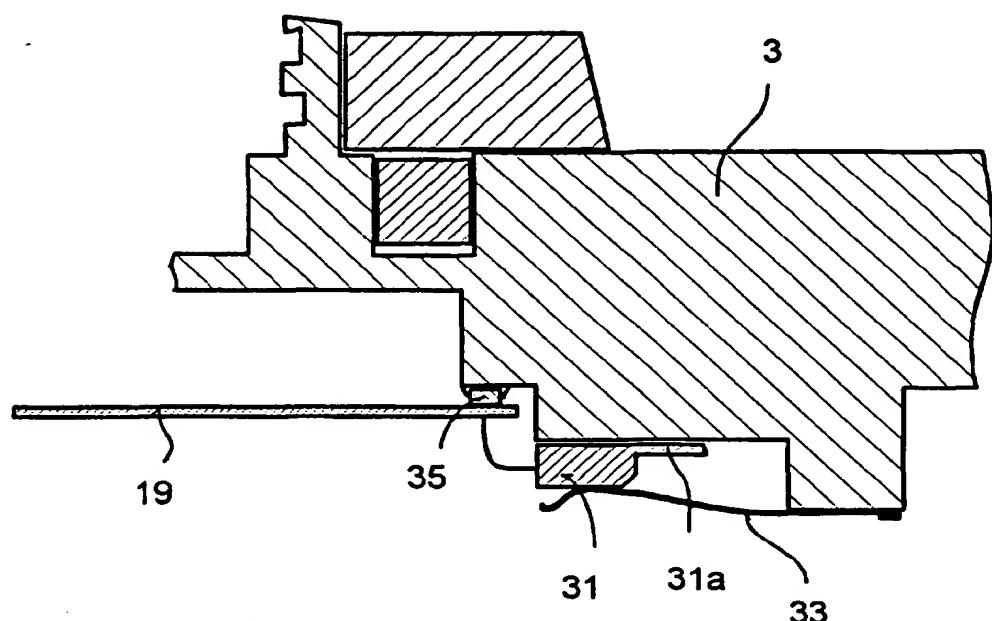


Fig. 2

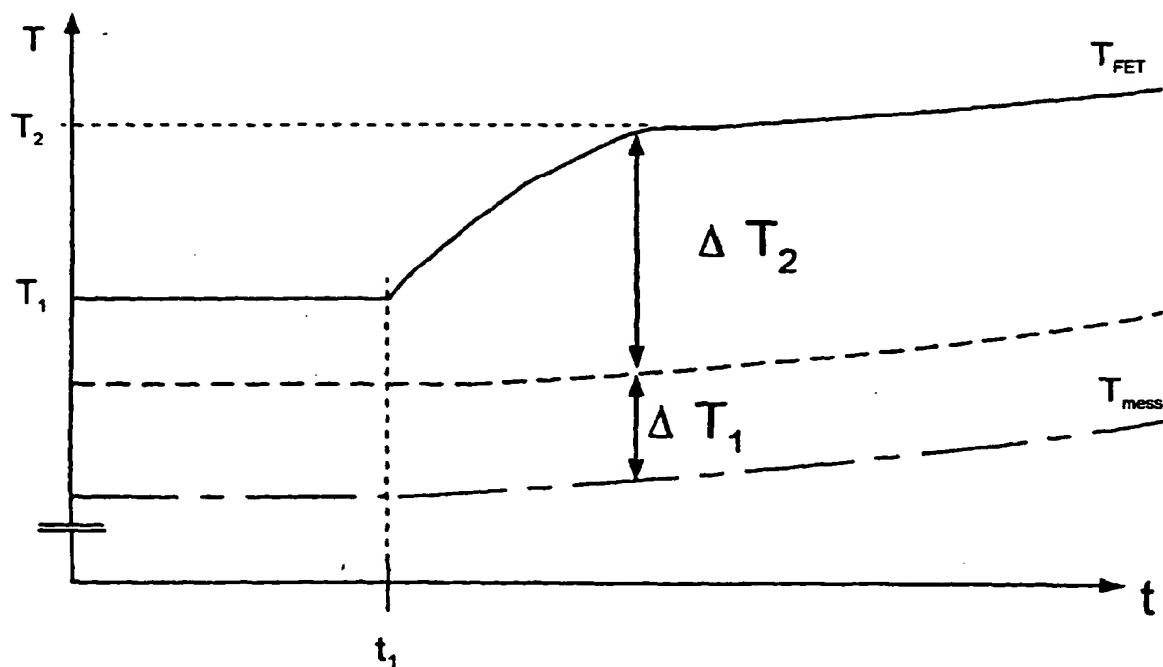


Fig. 3

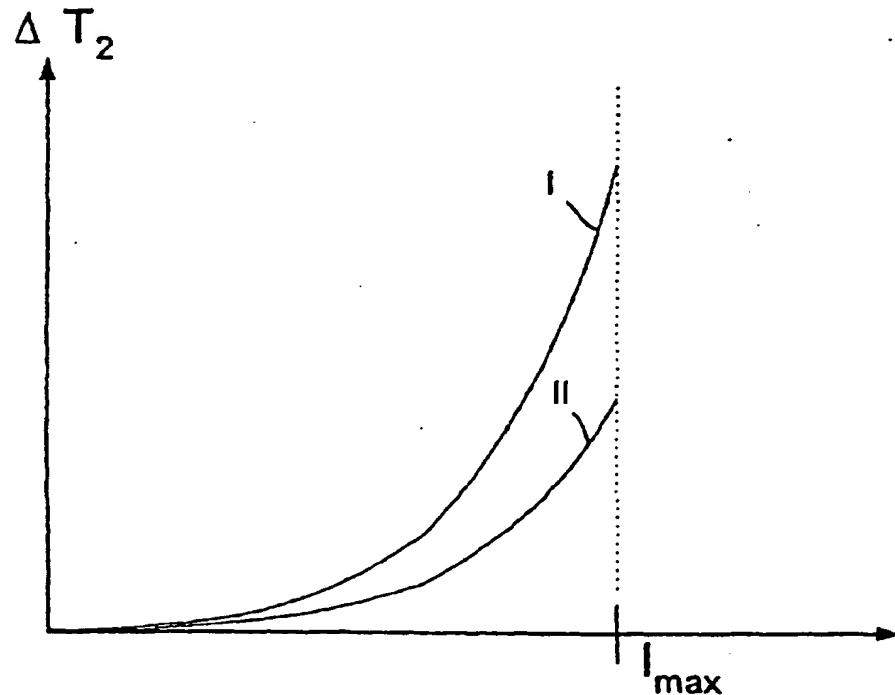


Fig. 4